生活支援ロボットの走行安定性試験方法

○小口誠・神保浩之・小林隆・藤川達夫 (日本自動車研究所)

1. はじめに

新エネルギー・産業技術総合開発機構が実施する「生活支援ロボット実用化プロジェクト」（以下，本プロジェクト）では，生活支援ロボットの安全性を検証する手法を開発し，現在策定が進められているパーソナルケアロボットの安全性に関する国際規格（ISO 13482）への提案を目指している[1]．本稿では，安全性検証試験の一つである走行安定性試験について，これまでに作成した試験方法案を紹介する．

2. 安全性検証試験の位置付け

本プロジェクトで開発している試験は，ISO 13482に基づく第三者認証の際に，ロボットの安全性が設計仕様通りであることを検証するものである．

安全性検証試験の項目と内容は，ロボットの開発者がリスクアセスメントに基づいて作成する妥当性確認計画の中で定める．しかし，生活支援ロボットの形状や機能は多種多様であり，個々のロボットについて開発者が全ての検証試験方法を検討するのは現実的でない．そこで本プロジェクトでは，生活支援ロボットにある程度共通するリスクについて，標準的な試験方法を開発し，ロボット開発における妥当性確認プロセスの効率化に寄与する．

3. 走行安定性試験の概要

3.1 適用範囲

タイヤ等を用いた走行移動機能をもつロボットは，「走る・曲がる・止まる」といった一連の走行動作の過程で，転倒などによって人に危害を及ぼすリスクが考えられる．そこで，走行安定性試験では，操縦・自律に係わらず走行移動機能を備える生活支援ロボットを対象として，設計コンセプトで想定する走行環境と走行方法を模擬したときに，転倒や走路逸脱，積載物の落下といった事象が発生しないことを確認する．

3.2 参照規格

走行安定性試験方法は，類似機器の既存の試験方法を参考にして開発した．具体的には，走行移動機能を持つ生活支援ロボットと大きさや速度域が近いと考えられる，電動車いすの規格JIS T9203に定められた試験方法を参考に，生活支援ロボットに適した変更を加えた．

3.3 試験方法の妥当性確認

試験方法の開発にあたっては，本プロジェクトに参加するロボットメーカから提供された移動型および搭乗型ロボットと，市販の類似機器（倒立振子型ロボット，電動車いす，セニアカー）をサンプルとして試験を行い，走行安定性を評価できることを確認した．

4. 試験設備

本プロジェクトでは，産業技術総合研究所の生活支援ロボット安全検証センター（茨城県つくば市）を利用し，試験装置を導入して研究開発を行っている．

図1は走行安定性試験を行うための走行試験設備である．図の左側は平坦路であり，最長で20 mの直線部と，10 m×13 mの多目的試験エリアを確保できる．右側は傾斜路であり，傾斜角度を0～10度の範囲で変更できる．

いずれの試験路も，図2のようなセグメントを置き換えて床材を変更することが可能であり，現在はプラスチックタイル，フローリング，カーペット，セイフティウォーク（アスファルト舗装を模擬）が用意されている．また，平坦路は散水することで湿潤路を模擬することができる．

図 1　走行安定性試験設備

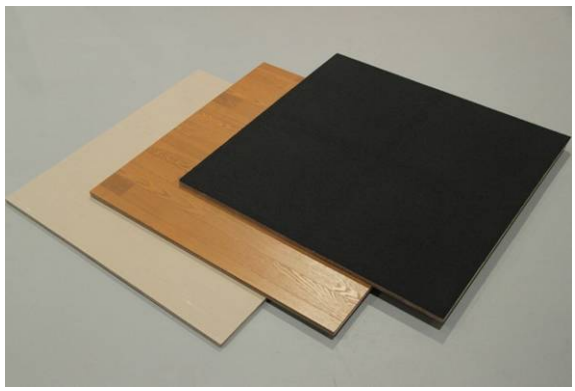

図 2　床材セグメントの例

5. 走行安定性に関する要求事項

ISO/DIS 13482の要求事項を踏まえて，生活支援ロボットの走行安定性試験で検証すべき内容を以下のように考える．

(1) 最高速度がリスクアセスメントで想定した設計速度を超えないこと．
(2) 制動距離がリスクアセスメントで想定した許容距離を越えないこと．
(3) 想定される走路幅から逸脱しないこと．
(4) 転倒しないこと．
(5) 積載物や搭乗者が転落しないこと．

6. 試験条件

6.1 試験時の路面

屋内を走行するロボットについてはプラスチックタイル，屋外を走行するロボットについてはセイフティウォークを基本路面とする．ただし，試験対象ロボットの想定使用環境に，走行安定性に影響を及ぼす特性（摩擦係数，変形特性など）が基本路面と著しく異なる路面がある場合には，当該路面についても試験を行う．

使用環境に濡れた路面が想定される場合には，試験条件に含める．

6.2 傾斜角度，段差高さ，溝幅

試験対象ロボットの想定使用環境にある最大角度，最大段差高さ，最大溝幅とする．

6.3 積載条件

試験対象ロボットの最大積載荷重条件で試験を行う．積載物には搭乗者を含み，積載物の搭載方法は，ロボット製造者が取扱説明書で定める方法による．

6.4 走行幅

試験対象ロボットの想定使用環境にある最も狭い通路幅とする．

7. 試験方法

走行安定性試験では，試験対象ロボットのリスクアセスメントに基づいて必要な試験項目を選択する．ここでは，代表的な試験項目について現時点の試験方法案を紹介する．

7.1 最高速度確認試験

試験対象ロボットの最高速度は，図3に示す方法で測定する．最高速度まで十分に加速できる助走区間に続いて測定区間を設け，スタート地点から加速して走路の中央を走行する．測定区間の通過時間を測定して速度を算出し，設計速度を超えていないことを確認する．

傾斜路での使用が想定されるロボットについては，想定最大傾斜角度の路面上で，傾斜角度が最大になる方向に降坂しながら試験を行う．

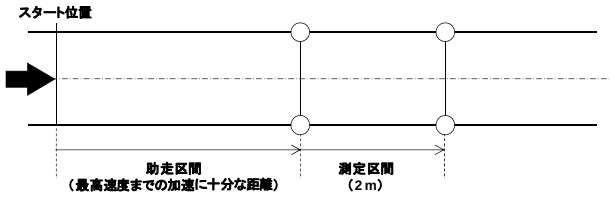

図 3　最高速度確認試験方法
（試験路面上方視）

7.2 制動試験

走行からの制動によるリスクが想定される場合は，図4に示す方法で制動試験を行う．また，試験実施状況の例を図5に示す．

最高速度確認試験と同様に助走区間，測定区間を走行する．最高速度で測定区間を通過したら制動開始ランプを点灯し，点灯と同時に操縦者は最大制動を行う．このとき，制動によってロボットが転倒しないこと，積載物や搭乗者が落下しないこと，制動距離が許容距離を越えないこと，および制動時の挙動の乱れによって許容走路幅を逸脱しないことを確認する．

傾斜路での使用が想定されるロボットについては，想定最大傾斜角度の路面上で，傾斜角度が最大になる方向に降坂しながら試験を行う．

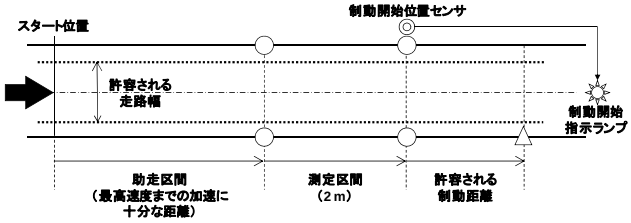

図 4　制動試験方法
（試験路面上方視）

図 5　制動試験実施状況の例

7.3 段差降り走行試験

試験対象ロボットの想定使用環境に段差がある場合には，段差を昇降するときに転倒等のリスクが考えられるため，検証試験が必要である．図6は，段差を降りるときの安定性を試験する方法を示す．また，試験状況の例を図7に示す．

ロボットの想定環境にある最大高さの段差の上から，段差に対して直角方向，および10度の方向に微少な速度で走行して降りる．このとき，ロボットの転倒や積載物の落下がないことを確認する．

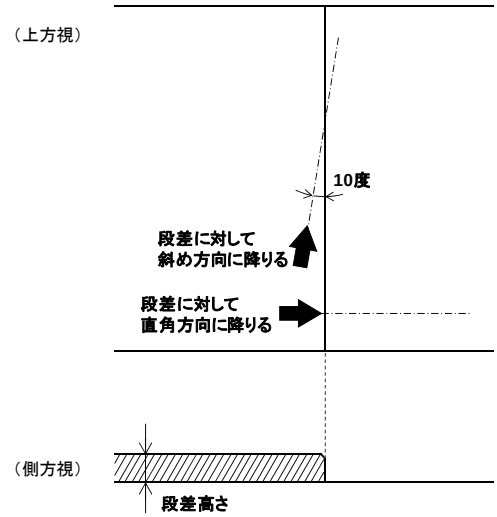

図 6　段差降り走行試験方法

図 7　段差降り走行試験の実施状況例

7.4 急旋回走行試験

ロボットが走行中に旋回運動をするときには転倒等のリスクが考えられるため，図8のような方法で検証試験を行う．図9は，急旋回走行試験の実施状況の例である．

最高速度確認試験と同様に助走区間，測定区間を走行する．最高速度で測定区間を通過したら，そのロボットの最小旋回半径で急旋回を行う．このとき，ロボットの転倒や積載物の落下がないことを確認する．

傾斜路での使用が想定されるロボットについては，想定最大傾斜角度の路面上で，傾斜角度が最大になる方向に降坂しながら試験を行う．また，ロボットの左右の構造が走行安定性に影響する程度に異なる場合には，左旋回，右旋回の両方で試験を行う．

なお，試験対象ロボットが走行しながら方向転換する機能を持たない場合，本試験は適用しない．

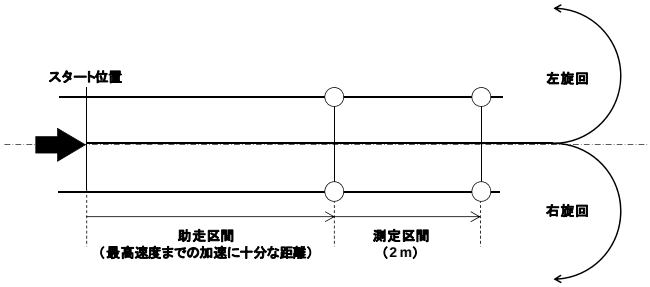

図 8　急旋回走行試験方法

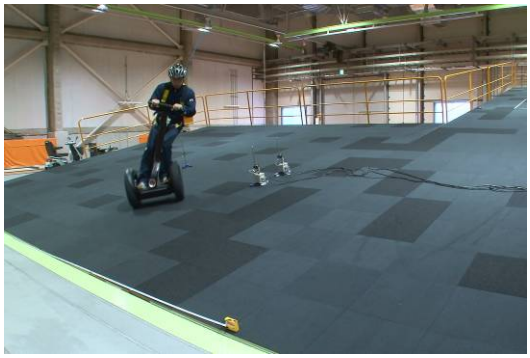

図 9　急旋回走行試験の実施状況例

8. まとめと今後の課題

生活支援ロボットの走行安定性試験について，現時点で検討されている代表的な試験方法案を紹介した．これらの案は，ISO 13482を策定している国際会議の場で，日本案として提案していく．

なお，現在の案では，走行安定性試験を「設計仕様通りであること」の検証と位置づけているため，試験条件は設計仕様の最大値としている．しかし，設計仕様に係わらず，使用環境に一般的に存在する走行環境条件は考慮すべきとの考え方もあり，今後の課題として検討する必要がある．

9. おわりに

本研究開発は，NEDOの「生活支援ロボット実用化プロジェクト」の委託業務の一環として実施しているものである．

参　考　文　献

[1] 藤川達夫ほか: “生活支援ロボットの安全性試験方法の開発”,第 29 回日本ロボット学会学術講演会,2B1-3